

IMPLEMENTASI KENDALI PID DALAM MENINGKATKAN KINERJA POWER SYSTEM STABILIZER

SUJITO

Abstrak : Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai stabilitas sistem pada saat terjadi perubahan daya dengan membandingkan kendali PSS konvensional dengan PIDPSS. Penerapan pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) untuk memperbaiki stabilitas dinamik pada sistem SMIB dapat memberikan unjuk kerja peredaman osilasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan pengendali PSS konvensional. Penelitian dilakukan dalam tiga kondisi yaitu kondisi awal, gangguan kenaikan daya elektrik dan gangguan penurunan daya elektrik terhadap *overshoot* dan *settling time* perubahan tanggapan kecepatan rotor. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penambahan PIDPSS pada SMIB memberikan hasil bahwa terjadi penurunan *overshoot* tanggapan kecepatan rotor terhadap ketiga jenis pengujian yaitu 55,36 % pada pengujian kondisi awal, 53,65 % pada pengujian gangguan kenaikan daya elektrik, dan 50% pada pengujian gangguan penurunan daya elektrik. Sedangkan pada *settling time* telah terjadi penurunan *settling time* tanggapan kecepatan rotor terhadap ketiga jenis pengujian yaitu 46,09 % pada pengujian kondisi awal, 49,48% pada pengujian gangguan kenaikan daya elektrik, dan 32,56% pada pengujian gangguan penurunan daya elektrik.

Kata kunci : PID, Kinerja, PSS

Salah satu permasalahan yang muncul pada suatu sistem tenaga listrik adalah masalah stabilitas dan dinamika sistem terhadap adanya gangguan. Pada bekerjanya suatu generator dengan baik, kecepatan mekanik dari rotor akan sama dengan kecepatan berputarnya medan putar stator. Kesamaan kecepatan ini cenderung dipertahankan apabila terjadi gangguan karena timbulnya kopel-kopel pensinkron pada generator (Elangovan, 1985). Jika pada suatu generator yang terhubung pada jaring, yang mengandung generator lain, putaran rotornya turun, maka sudut dayanya akan berkurang. Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik seperti pada generator dapat menimbulkan osilasi terhadap parameter sistem seperti tegangan, frekuensi, dan daya. Sementara itu, kebutuhan sistem menghendaki agar parameter-parameter tersebut bernilai tetap pada suatu titik operasi tertentu. Oleh karena itu, permasalahan dalam stabilitas sistem tenaga adalah bagaimana agar osilasi

yang terjadi akibat gangguan tersebut dapat secepat mungkin kembali stabil.

Studi stabilitas yang tepat dan kontinyu sangat diperlukan untuk menganalisis sistem supaya dapat bekerja dengan efektif. Untuk mempelajari stabilitas dinamis yaitu stabilitas generator yang mengalami perubahan beban, maka digunakan pemodelan terhadap komponen-komponen seperti generator sinkron, saluran transmisi, dan beban yang diturunkan dari persamaan-persamaan matematis yang mewakili perilaku dinamika sistem.

Penurunan persamaan-persamaan matematis yang mewakili perilaku dinamika sistem dapat dideskripsikan dengan menggunakan persamaan diferensial linear dan akibat yang terjadi yang berupa osilasi frekuensi rendah dapat distabilkan kembali dengan menambahkan sinyal kendali tambahan (Yu, 1983). Penambahan sinyal kendali tersebut dilakukan dengan menambahkan blok PSS (*Power System*

Stabilizer) berupa blok washout dan lead compensator dengan masukan berupa perubahan kecepatan rotor, perubahan frekuensi atau perubahan akselerasi daya. Penalaan sinyal kendali tambahan secara konvensional dilakukan dengan menghitung parameter PSS berdasarkan data sistem yang telah diketahui.

Seiring dengan berkembangnya dan kemajuan penelitian di bidang ilmu pengetahuan, untuk memperbaiki kompensator mendahului kemudian digunakan kendali kompensator PID (Proportional Integral Derivative). Pengendali ini merupakan pengendali proses linear dengan teori matematika yang lengkap dan mampu merancang secara tepat dan aman suatu kendali terprogram. Kelebihan kendali kompensator PID inilah yang akan di aplikasikan pada PSS sehingga dapat diketahui peningkatan kinerja PSS konvensional.

Stabilitas sistem tenaga listrik

Secara umum stabilitas sistem tenaga listrik dapat didefinisikan sebagai kemampuan komponen-komponen pada sistem tenaga listrik dalam memberikan keserempakan atau keseimbangan. Selama sistem dalam operasi normal, komponen-komponen dari sistem tenaga listrik memberikan keseimbangan dan saling mempengaruhi antara komponen yang satu dengan komponen yang lain. Misalnya jika terjadi gangguan atau perubahan secara mendadak, komponen-komponen sistem tenaga listrik tidak dapat seimbang. Dengan kata lain perbedaan kondisi komponen-komponen sistem tenaga listrik tidak bisa mengembalikan pada kondisi serempak.

Berkaitan dengan permasalahan stabilitas dikenal stabilitas keadaan tetap (steady-state), stabilitas dinamik, dan stabilitas transien (Kuo, B., C., 1995; Ogata, K., 2002). Stabilitas keadaan tetap berkaitan dengan keandalan sistem

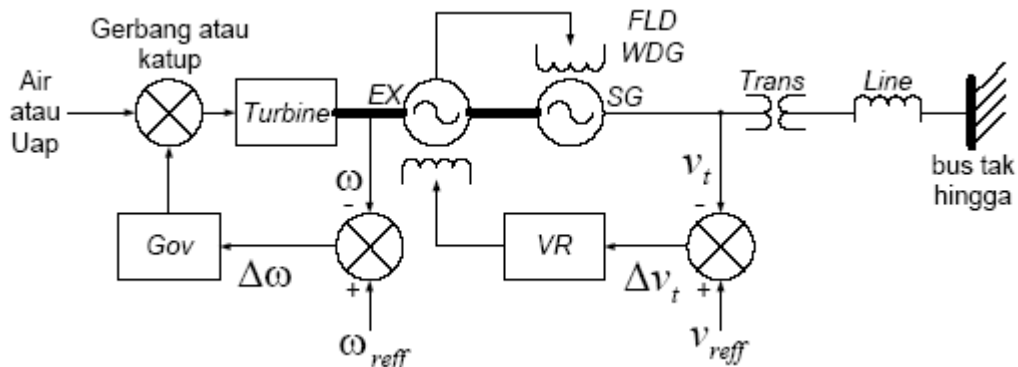
tenaga listrik untuk mempertahankan keadaan sinkron terhadap gangguan kecil perlahan, dan gangguan kecil ini dapat diatasi atau kembali stabil dengan eksitasi konvensional dan pengaturan governor. Stabilitas dinamik berkaitan dengan kestabilan sistem tenaga listrik setelah adanya gangguan yang kecil seperti perubahan tegangan dan beban secara mendadak dan akibat dari gangguan ini dapat distabilkan kembali ke titik operasi semula. Stabilitas transien berkaitan dengan kestabilan sistem setelah adanya gangguan yang besar seperti gangguan hubung singkat dan sistem dapat menuju kondisi tidak stabil atau menuju titik kestabilan yang baru.

Komponen dasar sistem tenaga listrik

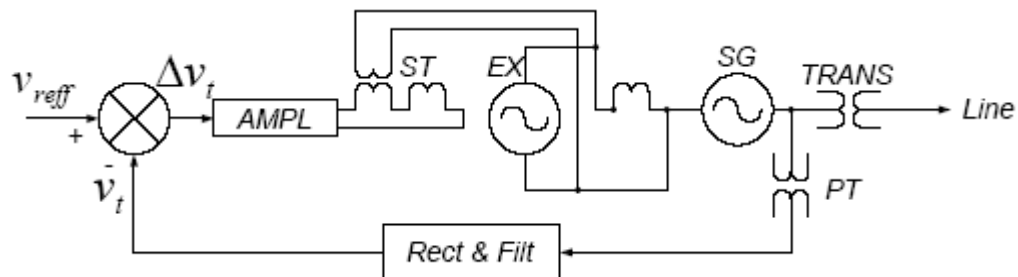
Komponen dasar sistem pembangkit daya listrik diperlihatkan pada Gambar 1 (Yun 1983; Padiyar, K. R., 1984). Pada Gambar 1, turbin (Turbine) dan governor (Gov) dengan kecepatan umpan balik $\Delta\omega$, generator (SG), eksitasi (EX), dan regulator tegangan (VR) dengan tegangan umpan balik Δv_t , transformator (Trans), dan jaringan transmisi (Line).

Turbin berfungsi sebagai konversi energi mekanik pada proses termodinamika. Energi dari turbin dikonversikan melalui sirip turbin dan dialihkan ke poros yang terhubung ke generator. Governor berfungsi untuk menstabilkan nilai torsi mekanik yang menjadi masukan generator. Bila putaran berubah, governor berfungsi sebagai umpan balik untuk mencapai nilai keseimbangan baru pada sistem. Generator sinkron berfungsi sebagai konversi energi mekanik ke energi listrik, biasanya tipe sinkron tiga-fase, dan berbasis pada hukum induksi Faraday. Komponen utamanya adalah (1) belitan jangkar, (2) belitan medan, dan (3) masukan energi mekanik dalam bentuk

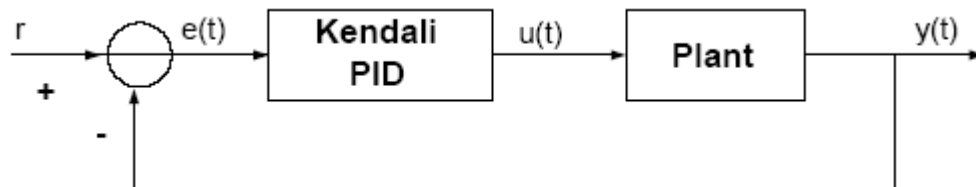
gaya dari suatu torsi yang menyebabkan jangkar.
gerak relatif medan terhadap belitan



Gambar 1. Komponen dasar pembangkit tenaga listrik

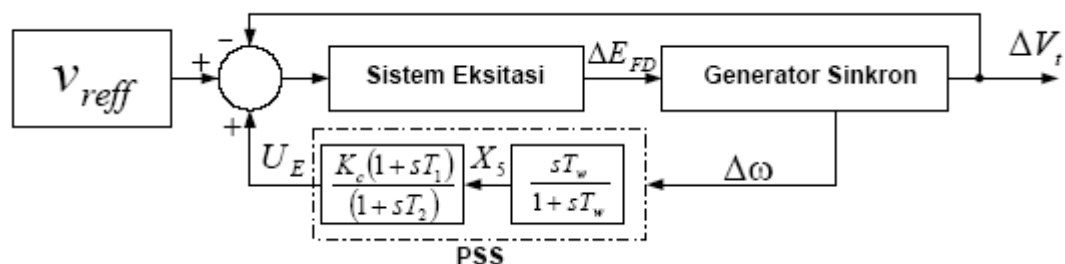


Gambar 2. Sistem eksitasi dan pengaturan tegangan



r : titik atur $e(t)$: galat
 $u(t)$: Keluaran kendali $y(t)$: Keluaran sistem

Gambar 3. Sistem sederhana dengan kendali PID



Gambar 4. Blok diagram PSS.

Pada Gambar 2. diperlihatkan sistem eksitasi dan pengaturan tegangan (voltage regulator VR). Tegangan terminal generator sinkron (SG) diukur melalui trafo potensial (PT) yang kemudian disearahkan dan difilter, kemudian dibandingkan dengan tegangan referensi (V_{ref}) untuk memperoleh deviasi perubahan tegangan (Δv_t). Setelah dilewatkan

melalui penguat (AMPL) sinyal penguatan ini digunakan untuk mengendalikan medan eksitasi, kemudian hasil keluaran eksitasi digunakan untuk mengendalikan eksitasi medan generator. Kerja umpan balik demikian akan menaikkan sistem eksitasi yaitu bila tegangan terminal generator turun dibawah tegangan referensi dan mengurangi sistem eksitasi yaitu bila tegangan terminal naik diatas tegangan referensi. Untuk menstabilkan sistem eksitasi secara sendiri dilakukan oleh Stabilizing Transformer (ST).

Kendali Proportional Integral Derivative (PID)

Banyak sistem terkarakteristikan oleh hubungan masukan-keluaran dikarenakan hubungan internalnya tidak signifikan. Kendali sederhana seperti prortional (p), integral (i), atau derivative (d) dapat digunakan sebagai pengendali ataupun gabungannya yaitu PID seperti terlihat pada Gambar 3 (Hsu, Y. Y., 1987).

Kendali PID menggabungkan keseluruhan kebaikan dari masing-masing komponen pembentuknya. Kendali tersebut digunakan untuk memperbaiki isyarat galat $e(t)$ dengan cara mengintegralkan dan menurunkan isyarat-galat untuk memperoleh isyarat galat yang mendekati nol. Persamaan

kendali dengan aksi gabungan itu diberikan oleh persamaan (1).

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{t_i} \int_0^t e(t) dt + K_p t_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

dimana:

K_p : penguatan proporsional

t_i : waktu integral

t_d : waktu turunan

Kendali Proportional (K_p) akan memberikan efek mengurangi waktu naik, tetapi tidak menghapus kesalahan keadaan tunak. Kendali Integral (K_i) akan memberikan efek menghapus kesalahan keadaan tunak, tetapi akan berakibat memburuknya respon transient. Kendali Derivative (K_d) akan memberikan efek meningkatnya stabilitas sistem, mengurangi overshoot, dan menaikkan respon transfer. Efek dari setiap kendali (K_p , K_i , K_d) dalam sistem loop tertutup diperlihatkan pada Tabel 1.

Hubungan korelasi yang terdapat pada Tabel tersebut mungkin tidak sepenuhnya akurat, karena K_p , K_i , dan K_d saling bebas. Pada kenyataannya, mengubah salah satu variabel dapat mengubah dua yang lainnya. Karena alasan tersebut, tabel ini hanya digunakan sebagai referensi saat kita menentukan nilai untuk K_p , K_i , dan K_d .

Tabel 1. Korelasi kendali PID

Respon loop tertutup	Waktu Naik	Overshoot	Waktu Turun	Kesalahan Keadaan Tunak
K_p	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
K_i	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
K_d	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

Power System Stabilizer

Blok diagram Power System Stabilizer (PSS) terdiri dari rangkaian washout dan kompesator seperti pada Gambar 4. Rangkaian washout

diperlukan untuk mengeliminasi bias keadaan tetap pada keluaran PSS, sedangkan kompensator diberikan untuk derajat mendahului (lead). T_w merupakan konstanta waktu washout, K_c merupakan

penguat PSS, T_1 dan T_2 merupakan konstanta waktu derajat lead, $\Delta\omega$ merupakan sinyal masukan untuk PSS berupa perubahan kecepatan rotor, dan U_E merupakan sinyal keluaran PSS yang dimasukkan atau ditambahkan kedalam sistem eksitasi sebagai sinyal kendali tambahan (supplementary control).

Untuk menentukan nilai K , T , dan T dapat dihitung dari blok diagram sistem tenaga listrik (Yu, 1983) sebagai:

1. Mendesain PSS dari frekuensi mode mekanis alami tak teredam (undamped natural mechanical mode frequency). Frekuensi mode mekanis alami tak teredam diberikan oleh

$$w_n = \sqrt{\frac{w_b K_1}{M}} = \quad (2)$$

2. Menentukan fungsi alih GE bagian maju (forward path) sistem tenaga, yakni fungsi alih dari keluaran PSS ke torsi elektrik. Dari perhitungan fungsi alih ini dapat ditentukan apakah diperoleh fase lead atau lag. Fase lead atau lag $G_E = \angle G_E$ b

3. Mendesain kompensasi fase lead atau lag $\angle G_C$. Jika sinyal masukan untuk PSS dipilih, maka

$$\angle G_E + \angle G_C = 0 \quad (3)$$

kemudian menentukan konstanta waktu derajat lead dan lag.

$$G_C = \frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \quad (4)$$

4. Mendesain penguat PSS K_C

$$K_C = \frac{D_E}{|G_E|_s |G_C|_s} \quad (5)$$

Dimana D_E merupakan peredaman elektrik, untuk frekuensi mode mekanis alami tak teredam $D_E = 2 \cdot \omega_n \zeta_n \cdot M$. dan ζ_n merupakan koefisien peredaman berkisar antara 0.1 sampai 0.3 pu.

Diagram fungsi alih dari sinyal eksitasi tambahan dapat dinyatakan sebagaimana terdapat pada Gambar 4. Persamaan yang diperoleh dari fungsi alih tersebut adalah

$$(1 + sTw)X_5 = sTw\Delta\omega \quad (6)$$

$$(1 + sT_2)U_E = K_C (1 + sT_1) X_5 \quad (7)$$

Vektor variabel keadaan baru yang terbentuk adalah

$$x = [\Delta\omega, \Delta\delta, \Delta e_q, \Delta E_{FD}, X_5, U_E]^T \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{w} \\ \Delta \dot{d} \\ \Delta \dot{e}_q \\ \Delta \dot{E}_{FD} \\ \dot{X}_5 \\ \dot{U}_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-D}{M} & \frac{-K_1}{M} & \frac{-K_2}{M} & 0 & 0 & 0 \\ w_b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-K_4}{T'_{d0}} & \frac{-1}{(T'_{d0} K_3)} & \frac{-1}{T'_{d0}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-K_A K_5}{T_A} & \frac{-K_A K_6}{T_A} & \frac{-1}{T_A} & 0 & \frac{K_A}{T_A} \\ 0 & \frac{-K_1}{M} & \frac{-K_2}{M} & 0 & \frac{-1}{T_w} & 0 \\ 0 & \frac{-K_C K_1 T_1}{MT_2} & \frac{-K_C K_2 T_1}{MT_2} & 0 & \frac{-K_C}{T_2} \left(1 - \frac{T_1}{T_w}\right) & \frac{-1}{T_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta w \\ \Delta d \\ \Delta e_q \\ \Delta E_{FD} \\ X_5 \\ U_E \end{bmatrix} \quad (9)$$

Pengendali PIDPSS

Berdasarkan pada persamaan (7) terdapat blok lead kompensator dengan fungsi alih $H_2(s)$ yang dinyatakan pada

persamaan (10), blok lead kompensator ini dapat dianalogikan dengan blok Proportional Derivative (PD) (Wolovich,

1994) yang dinyatakan pada persamaan (11).

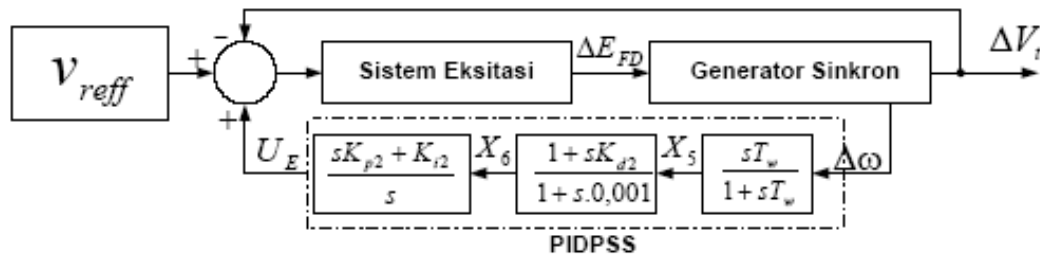
$$H_2(s) = K_c \left(\frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \right) \quad (10)$$

$$H_2(s) = K_c \left(\frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \right) = K_c \left(\frac{1 + sT_1}{1 + asT_1} \right) = K_p \left(\frac{\frac{K_d}{K_p} s + 1}{\frac{K_d}{NK_p} s + 1} \right) = H_{PD}(s) \quad (11)$$

Dimana: $K_p = K_c$, $K_d = K_c \cdot T_1$, dan $N = 1/\alpha$, sehingga

$$T_1 = K_d/K_p \quad (12)$$

$$G_c(s) = K_p + K_d s + \frac{K_i}{s}$$



Gambar 5. Blok fungsi alih PIDPSS

$$(1 + sT_w)X_5 = sT_w\Delta\omega \quad (17)$$

$$(1 + s0.001)X_6 = (1 + sK_d^2) X_5 \quad (18)$$

$$sU_E = (sK_p^2 + K_i^2) X_6 \quad (19)$$

vektor variabel keadaan baru yang terbentuk adalah :

$$x = [\Delta\omega, \Delta\delta, \Delta e_q, \Delta E_{FD}, X_5, X_6, U_E]^T$$

METODE PENELITIAN

Secara garis besar penelitian ini dimaksudkan untuk menyelidiki seberapa jauh perbaikan stabilitas sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan dengan mengimplementasikan kendali Proportional Integral Derivative (PID) pada Power System Stabilizer (PSS) dengan cara membandingkan kendali konvensional. Rencana pelaksanaannya adalah:

1. Perhitungan parameter sistem tenaga listrik SMIB dan parameter blok PSS

$$= (1 + K_d^2 s) \left(K_p^2 + \frac{K_i^2}{s} \right) \quad (13)$$

Persamaan (13) merupakan persamaan orde dua yang dapat dipecah ke dalam persamaan orde satu (Kuo, 1995), sehingga didapatkan:

$$K_p = K_p^2 + K_d^2 + K_i^2 \quad (14)$$

$$K_d = K_p^2 + K_d^2 \quad (15)$$

$$K_i = K_i^2 \quad (16)$$

Fungsi alih PIDPSS

Diagram fungsi alih dari sinyal PIDPSS dapat digambarkan seperti pada Gambar 5, sedangkan persamaan pembentuk fungsi alih tersebut dinyatakan pada persamaan (17), (18), dan (19).

2. Perhitungan dan penentuan parameter blok PIDPSS

3. Analisis hasil simulasi.

Data sistem generator sinkron terhubung ke bus tak berhingga yang digunakan sebagai plant yang dikendalikan diambil dari buku Electric Power System Dynamics (Yu, 1983) yang terdiri dari data generator, sistem Eksitasi, jaringan dan beban, serta kondisi awal.

Generator:

$$M = 9.26 \quad T'd0 = 7.76 \quad D = 0 \\ x_d = 0.973 \quad x'd = 0.190 \quad x_q = 0.550$$

S. Eksitasi:

$$K_A = 50 \quad T_A = 0.05$$

Saluran Transmisi & Beban:

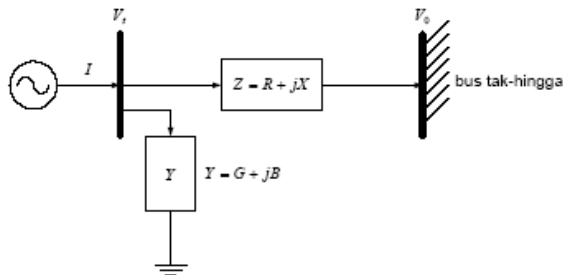
$$R = -0.034 \quad X = 0.997$$

$$G = 0.249 \quad B = 0.262$$

Kondisi awal:

$$Pe0 = 1.0 \quad Qe0 = 0.015 \quad Vt0 = 1.05$$

Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Simulink Matlab versi 6.1. Gambar 6 memperlihatkan model sistem tenaga SMIB yang digunakan dalam simulasi.



Gambar 6. Model sistem tenaga SMIB (*single machine infinite bus*)

HASIL PENELITIAN

1. Perhitungan parameter sistem tenaga listrik SMIB dan parameter blok PSS

Pada penelitian ini sistem yang digunakan merupakan sistem tenaga listrik SMIB (Single Machine Infinite Bus). Berdasarkan sistem tenaga SMIB, kemudian dilakukan perhitungan parameter stabilitas sistem tenaga listrik yang meliputi nilai konstanta K_1 sampai K_6 . Hasil perhitungan tersebut adalah:

$$K_1 = 0.5442 \quad K_2 = 1.2120 \quad K_3 = 0.6584 \\ K_4 = 0.7037 \quad K_5 = -0.0945 \quad K_6 = 0.8150$$

Sedangkan parameter PSS seperti ditunjukkan pada fungsi alih PSS adalah:

$$T = 3.0 \\ T_1 = 0.6581 \quad T_2 = 0.1 \quad K_c = 7.0911$$

Nilai parameter PSS ini selanjutnya digunakan untuk menentukan fungsi alih blok PSS seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

2. Perhitungan dan penentuan parameter blok PID-PSS

Setelah konstanta PSS berupa T_1 dan K_c diperoleh, langkah selanjutnya menentukan konstanta dalam PID.

Dari persamaan (12) dimana:

$$K_c = 7.0911$$

$$K_c = K_p = 7.0911 \text{ dan}$$

$T_1 = 0.685 = K_d/K_p$ sehingga kita dapatkan $K_d = 4.857$.

Kemudian dari persamaan (13) sampai (16), kita bisa mendapatkan konstanta untuk PID yaitu:

$$K_{p2} = 6.323, \quad K_{d2} = 0.76821, \quad \text{dan} \quad K_{i2} = 30.$$

Nilai dari parameter PID ini selanjutnya digunakan untuk menentukan fungsi alih blok PIDPSS seperti ditunjukkan pada Gambar 13.

3. Hasil Simulasi

Ada tiga hasil penelitian yang diperoleh yaitu:

1. Parameter konstanta PSS yaitu konstanta K_1 sampai K_6 yaitu:

$$K_1 = 0.4451 \quad K_4 = 0.6983$$

$$K_2 = 1.212 \quad K_5 = -0.096$$

$$K_3 = 0 \quad K_6 = 0.816$$

2. Konstanta PID, yaitu: $K_{p2} = 6.323$, $K_{d2} = 0.76821$, dan $K_{i2} = 30$.

3. Hasil simulasi untuk tiga kondisi yaitu (1) kondisi pengujian pada kondisi awal, (2) kondisi gangguan kenaikan daya elektrik, dan (3) kondisi gangguan penurunan daya elektrik yang di perlihatkan pada Gambar 9, 10, 11.

PEMBAHASAN

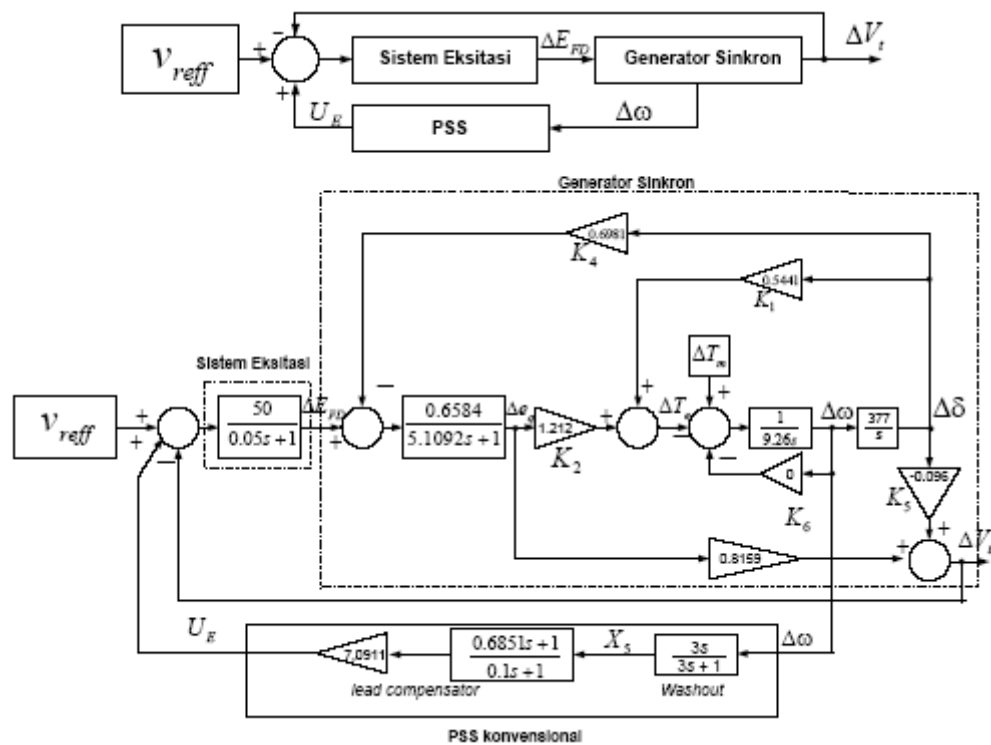
Berdasarkan hasil penelitian yang meliputi penentuan parameter PSS pada sistem tenaga SMIB yang digunakan dalam simulasi, data yang diperoleh digunakan untuk membentuk blok fungsi alih pengendalian SMIB dengan penambahan PIDPSS. Parameter yang digunakan yaitu parameter K_1 sampai K_6 PSS yang diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_d & F_q \\ Y_d & Y_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (x_q - x'_q)i_{q0} \\ e'_{q0} + (x_q - x'_q)i_{q0} \end{bmatrix}$$

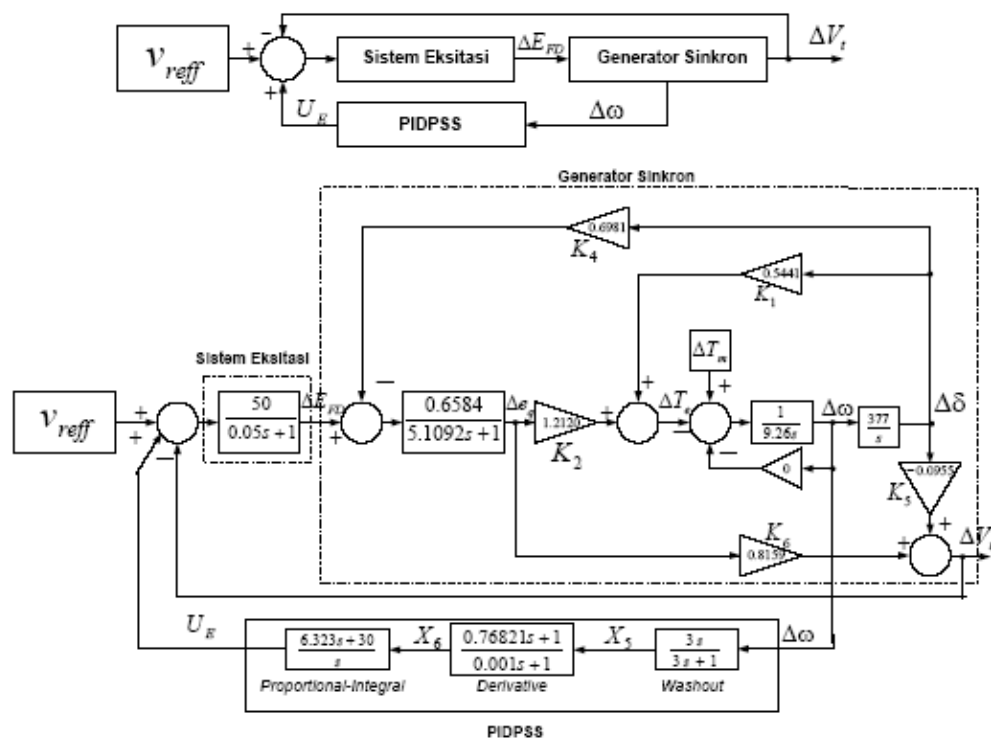
$$K_3 = \frac{1}{[1 + (x_d - x'_d)Y_d]}$$

$$K_4 = (x_d - x'_d)F_d$$

$$\begin{bmatrix} K_5 \\ K_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_{q0}/V_{t0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_d & F_q \\ Y_d & Y_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -x'_d & V_{q0}/V_{t0} \\ x_q & V_{d0}/V_{t0} \end{bmatrix}$$



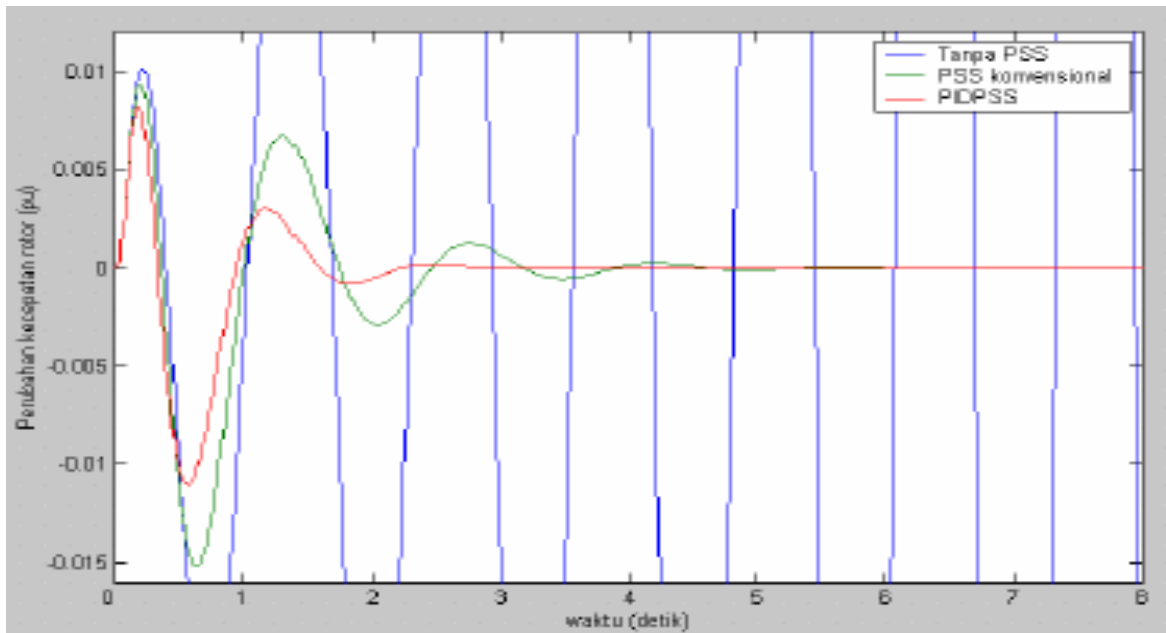
Gambar 7. Fungsi alih pengendalian SMIB dengan penambahan PSS konvensional.



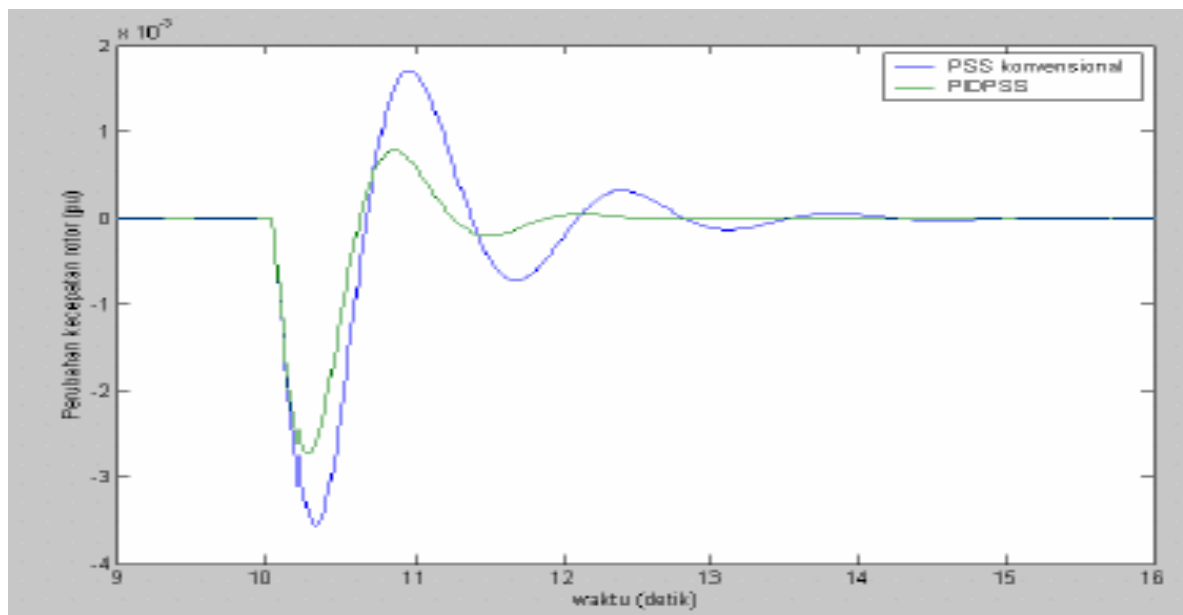
Gambar 8. Fungsi alih pengendalian SMIB dengan penambahan PIDPSS.

Konstanta parameter K_1 sampai K_6 digunakan untuk membentuk blok kendali seperti yang diperlihatkan pada Gambar 12. Blok kendali tersebut memperlihatkan bentuk pemodelan sistem tenaga SMIB dengan PSS konvensional. Sedangkan konstanta PID

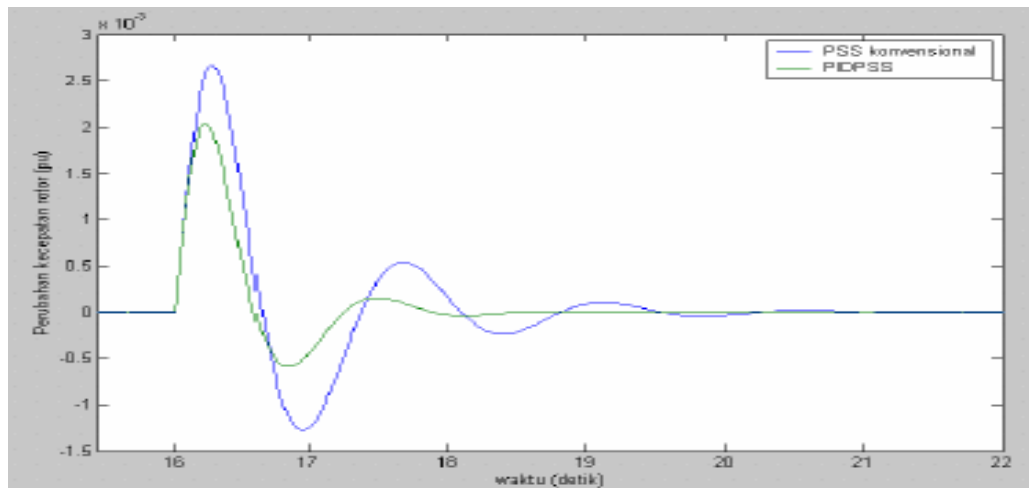
diperoleh dengan menggunakan persamaan (14), (15), dan (16) dengan terlebih dahulu mengetahui parameter yang diperlukan. Setelah diperoleh parameter dan konstanta yang diperlukan, maka dilakukan penyusunan blok kendali yang diperlihatkan pada Gambar 12.



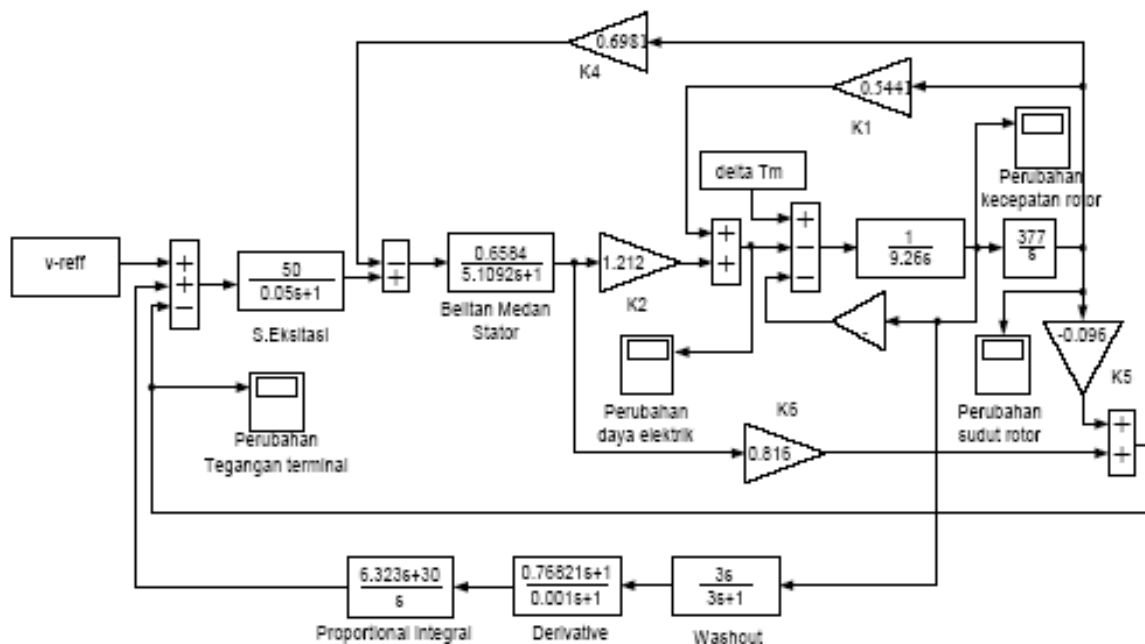
Gambar 9. Tanggapan dinamis sistem pada saat keadaan awal



Gambar 10. Pengujian gangguan kenaikan daya elektrik



Gambar 11. Pengujian gangguan penurunan daya elektrik



Gambar 12. Simulink PIDPSS

Simulasi dilakukan menggunakan blok kendali pada Gambar 12 dengan menggunakan tiga kondisi yaitu (1) kondisi pengujian pada kondisi awal, (2) kondisi gangguan kenaikan daya elektrik, dan (3) kondisi gangguan penurunan daya elektrik. Penelitian ini difokuskan pada tanggapan perubahan kecepatan rotor ($\Delta\omega$) untuk tiga kondisi tersebut. Gambar 9, 10, dan 11 memperlihatkan grafik tanggapan kecepatan rotor ($\Delta\omega$) yang meliputi *overshoot* dan *settling time* untuk tiga kondisi yaitu kondisi awal,

gangguan kenaikan daya elektrik, dan gangguan penurunan daya elektrik.

Pada pengujian tanggapan kecepatan rotor pada kondisi awal diperoleh data sebagai berikut:

Perubahan kecepatan rotor ($\Delta\omega$)		
	Nilai <i>overshoot</i>	<i>SettlingTime</i>
PSS konvensional	0,00672 pu	6,4 detik
PIDPSS	0,003 pu	3,45 detik
Penurunan terhadap PSS konvensional	55,36%	46,09%

Pada pengujian ini ada tiga grafik yaitu grafik untuk kendali sistem tanpa PSS,

kendali sistem dengan PSS konvensional, dan kendali sistem dengan PIDPSS. Pada kendali sistem tanpa PSS memperlihatkan bahwa osilasi sistem masih berlanjut, walaupun pada sistem dengan kendali PSS konvensional dan PIDPSS telah mencapai kestabilan. Penambahan PID pada PSS telah terjadi perubahan kecepatan rotor ($\Delta\omega$) yang terdapat dalam Gambar 9, mengalami penurunan *overshoot* dari 0,00672 pu menjadi 0,003 pu terhadap PSS konvensional, sehingga PIDPSS mengalami penurunan sebesar 55,36% terhadap PSS konvensional. Penurunan *settling time* pada PIDPSS dari 6,4 detik menjadi 3,45 detik terhadap PSS konvensional, sehingga PIDPSS mengalami penurunan sebesar 46,09% terhadap PSS konvensional.

Berdasarkan grafik pada Gambar 10, pengujian pada kondisi gangguan kenaikan daya elektrik diperoleh data sebagai berikut:

Perubahan kecepatan rotor ($\Delta\omega$)		
	Nilai <i>overshoot</i>	<i>Settling time</i>
PSS konvensional	0,0017 pu	4,85 detik
PIDPSS	0,000788 pu	2,45 detik
Penurunan PIDPSS terhadap PSS konvensional	53,65%	49,48%

Pada kondisi gangguan kenaikan daya elektrik perubahan kecepatan rotor ($\Delta\omega$) pada PIDPSS yang terdapat dalam Gambar 10, mengalami penurunan *overshoot* dari 0,0017 pu menjadi 0,000788 pu terhadap PSS konvensional, sehingga PIDPSS mengalami penurunan sebesar 53,65% terhadap PSS konvensional. Penurunan *settling time* pada PIDPSS dari 4,85 detik menjadi 2,45 detik terhadap PSS konvensional, sehingga PIDPSS mengalami penurunan sebesar 49,48% terhadap PSS konvensional.

Berdasarkan grafik pada Gambar 11, pengujian pada kondisi gangguan

penurunan daya elektrik diperoleh data sebagai berikut:

Perubahan kecepatan rotor ($\Delta\omega$)		
	Nilai <i>overshoot</i>	<i>Settling time</i>
PSS konvensional	0,00128 pu	4,3 detik
PIDPSS	0,00064 pu	2,9 detik
Penurunan PIDPSS terhadap PSS konvensional	50%	32,56%

Perubahan kecepatan rotor ($\Delta\omega$) pada PIDPSS yang terdapat dalam Gambar 11, mengalami penurunan *overshoot* dari 0,00128 pu menjadi 0,00064 pu terhadap PSS konvensional, sehingga PIDPSS mengalami penurunan sebesar 50% terhadap PSS konvensional. Penurunan *settling time* pada PIDPSS dari 4,3 detik menjadi 2,9 detik terhadap PSS konvensional, sehingga PIDPSS mengalami penurunan sebesar 32,56% terhadap PSS konvensional.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh dari simulasi terhadap tiga kondisi pengujian dapat disimpulkan:

1. Perbaikan unjuk kerja stabilitas dinamik sistem tenaga dapat terlihat dari penurunan nilai *overshoot* dan *settling time*.
2. Penerapan pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID) untuk memperbaiki stabilitas dinamik pada sistem SMIB dapat memberikan unjuk kerja peredaman osilasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan pengendali PSS konvensional.
3. Hasil penurunan *overshoot* tanggapan kecepatan rotor terhadap ketiga jenis pengujian yaitu 55,36 % pada pengujian kondisi awal, 53,65 % pada pengujian gangguan kenaikan daya elektrik, dan 50% pada pengujian gangguan penurunan daya elektrik.
4. Hasil penurunan *settling time* tanggapan kecepatan rotor terhadap ketiga jenis pengujian yaitu 46,09 % pada pengujian kondisi awal, 49,48%

pada pengujian gangguan kenaikan daya elektrik, dan 32,56% pada pengujian gangguan penurunan daya elektrik.

DAFTAR RUJUKAN

- Elangovan, S., dan Lim, C., Min, Sept. 1985, *A New Stabiliser Design Technique for Multimachine Power Systems*, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-104, No. 9, pp. 2393-2400.
- Hsu, Y. Y., Sept. 1987, *Design of Self-Tuning PID Power System Stabilizers for Synchronous Generators*, IEEE Trans. On Energy Conversion, vol. EC-2, No. 3, pp.343-348.
- Kuo, B., C., 1995, *Automatic Control Systems*, Prentice Hall Inc, New Jersey. 91
- Ogata, K., 2002, *Modern Control Engineering*, Prentice Hall, New Jersey.
- Padiyar, K. R., 1984, *Power System Dynamics Stability and Control*, John Wiley & sons (Asia) Pte Ltd, Singapura.
- Wolovich, W., A., 1994, *Automatic Control Systems-Basic Analysis and Design*, Saunders College Publishing, Florida.
- Yu, Y. N., 1983, *Electric Power System Dynamics*, Academic Press, New York.